

## Article

---

« Comparaison du rayonnement solaire en ville et à la campagne »

Conrad East

*Cahiers de géographie du Québec*, vol. 12, n° 25, 1968, p. 81-89.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/020788ar>

DOI: 10.7202/020788ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

---

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

---

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : [info@erudit.org](mailto:info@erudit.org)

# COMPARAISON DU RAYONNEMENT SOLAIRE EN VILLE ET À LA CAMPAGNE<sup>1</sup>

par

**Conrad EAST, s.j.**

*Observatoire de géophysique, collège Jean-de-Brébeuf, Montréal.*

## *Introduction*

Cet article veut être une contribution à l'étude du micro-climat créé par les vastes agglomérations urbaines. Déjà plusieurs ont mis en évidence l'élévation de température de la ville par rapport à celle de la campagne environnante. D'autres ont tenté de mesurer la différence en humidité entre l'atmosphère urbaine et l'atmosphère rurale. D'autres ont cru percevoir une augmentation de la nébulosité et de la précipitation au-dessus des villes. Tout cela fait partie du processus de perturbation du milieu par l'homme.

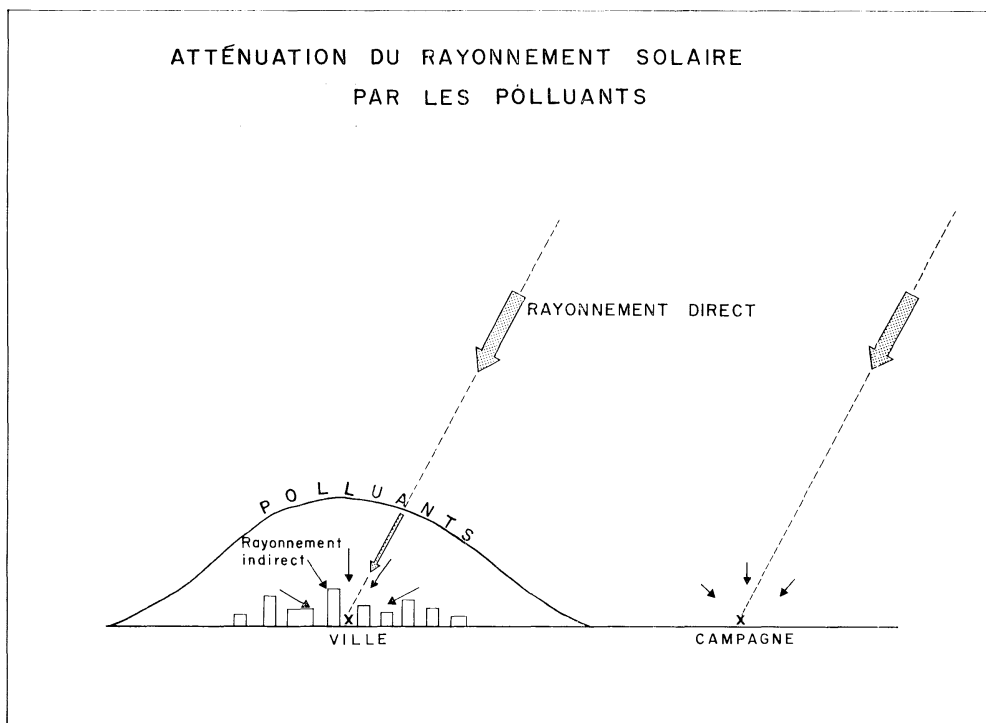
Les polluants atmosphériques représentent une autre forme importante de cette perturbation qui, en plus de menacer la santé, la végétation et les bâtiments, peuvent aussi modifier le climat du milieu. Ainsi le rayonnement solaire peut subir une atténuation marquée sous l'effet des polluants présents dans l'atmosphère urbaine. Mesurer cette atténuation du rayonnement solaire au-dessus de Montréal, tel fut l'objet de cette étude.

## *Théorie*

La figure 1 illustre l'approche utilisée pour établir la mesure de l'atténuation du rayonnement solaire par les polluants. Il s'agit de comparer des mesures enregistrées à deux stations, l'une urbaine, l'autre rurale. En un point donné, le rayonnement solaire reçu sur une surface horizontale peut se décomposer en deux éléments selon leur provenance: une composante directe (grosse flèche dans la figure 1) venant en droite ligne du soleil, et une composante indirecte (petites flèches) venant par diffusion de l'hémisphère céleste, exception faite de l'aire occupée par le disque solaire. Par temps clair, la composante directe est, de beaucoup, la plus élevée. Par contre, quand l'atmosphère est chargée de gouttelettes d'eau ou de poussières, la composante diffuse augmente au détriment de la composante directe. Mais au total le rayonnement reçu en atmosphère turbide est moins élevé qu'en atmosphère limpide, à cause de la forte atténuation subie par le rayonnement direct.

---

<sup>1</sup> L'auteur tient à présenter ses sincères remerciements à M. le docteur G.-O. Villeneuve, directeur du Service de météorologie du Québec, pour le prêt de l'instrumentation de Sainte-Thérèse, MM. C. Alain et J. Ouimet pour l'opération de la station rurale, M. J.-M. Brodeur pour l'analyse des données. Cette recherche a été, en majeure partie, subventionnée par le Conseil national de Recherches du Canada.

**Figure 1**

On peut se demander quels polluants sont responsables de l'atténuation, les gaz ou les particules ? Parmi les gaz, seul le  $\text{CO}_2$  se trouve dans des concentrations telles qu'il puisse absorber le rayonnement de façon significative ; il atteint, en effet, en atmosphère urbaine, des concentrations de 600 et même de 1,000 parties par million (par volume), soit deux ou trois fois le niveau normal ambiant. Mais, précisément parce que ce gaz existe déjà à la concentration de 300 ppm dans toute la couche atmosphérique jusqu'à 55 milles d'altitude, la partie du rayonnement solaire susceptible de disparaître à cause du  $\text{CO}_2$  présent dans la mince couche urbaine tout près du sol a déjà été absorbée par le  $\text{CO}_2$  présent dans toutes les couches supérieures. On ne voit donc pas ce que le  $\text{CO}_2$  des villes peut apporter d'absorption supplémentaire.

Les autres polluants gazeux, tels que  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$  et autres, sont présents dans des concentrations vraiment trop faibles (30 ppm pour le  $\text{CO}$ , 1 ppm pour les autres gaz) pour qu'ils soient responsables d'une atténuation significative dans les derniers 100 pieds de l'atmosphère.

Sans être un polluant, la vapeur d'eau pourrait jouer un rôle dans l'absorption. Toutefois, d'après les observations faites en quelques villes d'Europe centrale et résumées par Kratzer (1956), et d'après ses propres observations faites à Londres, Chandler (1967) affirme que les villes ont, en moyenne, une humidité absolue légèrement inférieure à celle de la campagne environnante. Il faudrait donc conclure

que, s'il existe quelque part une atténuation plus grande du rayonnement à cause de l'humidité de l'air, ce serait, non pas en atmosphère urbaine, mais bien en atmosphère rurale, là où l'humidité absolue serait légèrement supérieure. Mais cette différence d'atténuation n'est probablement pas importante.

Il reste pour expliquer l'atténuation différentielle du rayonnement en atmosphère urbaine, la présence de l'aérosol, qui comprend l'air comme phase dispersante, et, comme phase dispersée, toute particule, solide ou liquide. Il est assez difficile, à l'œil seulement, de distinguer entre atmosphère sèche ou humide. Mais nul doute que l'atmosphère urbaine contient toute une gamme de particules solides non-hygroscopiques, dont les dimensions submicroniques en font un élément naturel d'aérosol. Sur ce point, qu'il suffise de mentionner que l'atténuation du rayonnement par ces particules en suspension obéit à des lois très complexes dépendant des dimensions et de la concentration des particules, ainsi que de la longueur d'onde du rayonnement incident. En somme, on peut affirmer que le rayonnement à courte longueur d'onde, l'ultra-violet, sera d'abord et surtout atténué.

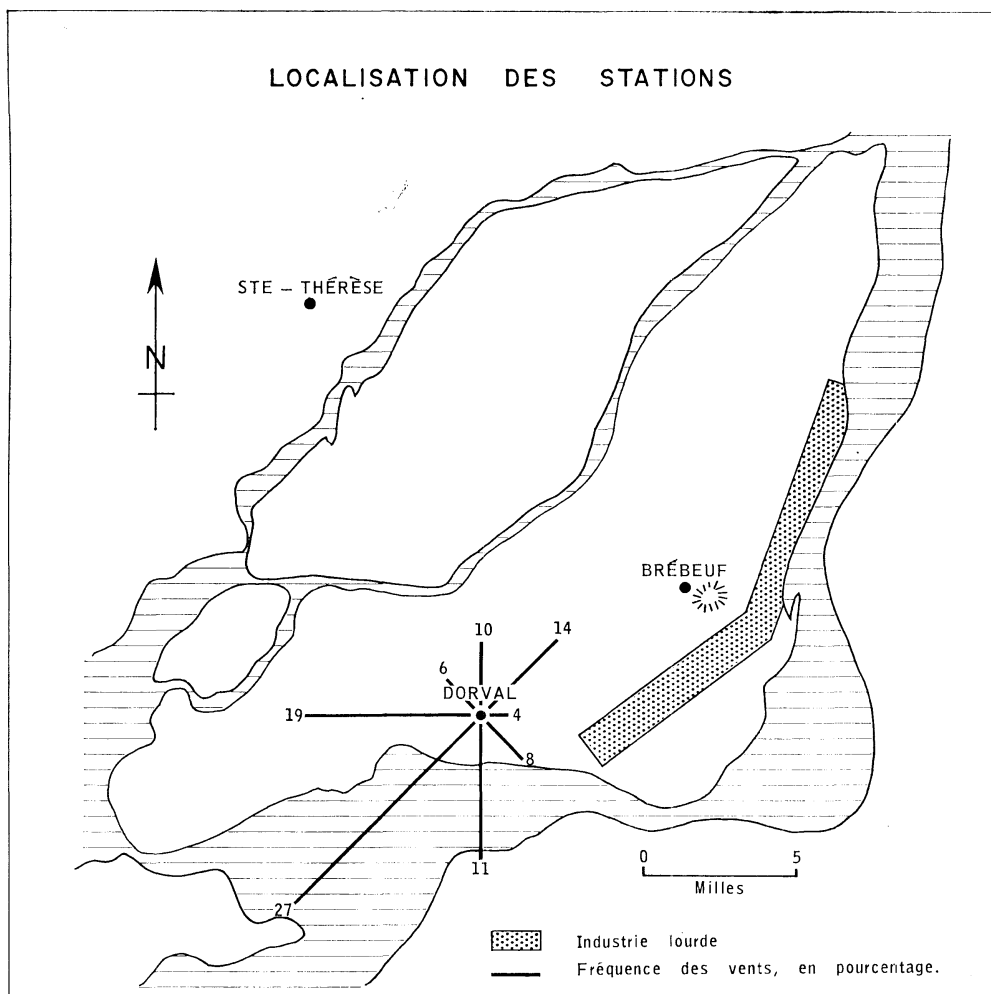
Plusieurs particules solides sont hygroscopiques et peuvent agir en atmosphère humide comme noyaux de condensation de la vapeur d'eau: ils forment alors de fines gouttelettes qui peuvent augmenter l'absorption du rayonnement. De plus, certains gaz ou vapeurs réagissent chimiquement les uns sur les autres pour former un produit qui a une pression de vapeur très basse aux températures ordinaires. Ce produit se condense dès lors très facilement sous forme de gouttelettes très fines: ainsi l'acide sulfurique, à partir de la vapeur d'eau et du  $\text{SO}_3$ , lequel est aisément formé par photosynthèse du  $\text{SO}_2$ , qui se trouve en assez grande abondance en atmosphère urbaine.

Dans les lignes qui suivent, nous désignerons les particules solides ou liquides responsables de l'atténuation sous le terme commun et commode de polluants.

### *Méthode*

La méthode de comparaison entre ville et campagne requiert un choix judicieux des deux stations à comparer, afin qu'elles soient représentatives des deux milieux. La figure 2 indique l'emplacement respectif des deux stations par rapport aux sources majeures de pollution de l'industrie lourde de Montréal.

Le choix de Brébeuf comme station urbaine s'imposait pour des raisons pratiques, puisqu'il y avait déjà là tout l'équipement d'une station du réseau national. Située dans un quartier résidentiel, à 400 pieds d'élévation sur le flanc ouest du Mont-Royal (sommet à 700 pieds au-dessus du niveau du fleuve), cette station quelque peu protégée des sources majeures de pollution ne réalise peut-être pas l'idéal de la station urbaine. Il faudra tenir compte de ce fait dans l'interprétation des résultats, en se rappelant qu'une station, située dans le centre-ville et à un niveau plus bas, aurait probablement mis en évidence des atténuations supérieures à celles qui furent mesurées. Dans ce même ordre d'idées, Landsberg (1958) mentionne que des mesures du rayonnement faites à Vienne au haut du clocher d'une église (238 pieds) et au niveau de la rue ont révélé une différence de 6% entre les deux niveaux: on voit ce qu'une couche assez mince d'atmosphère urbaine peut introduire d'atténuation.

**Figure 2**

La station rurale fut située à Sainte-Thérèse-de-Blainville, à 15 milles au nord-est du Mont-Royal. À cette distance et avec cette orientation privilégiée par rapport aux vents dominants de la région (voir figure 2, Dorval), la station rurale peut très difficilement subir l'influence urbaine de Montréal. D'autre part, la distance de 15 milles est suffisamment faible pour que l'on puisse considérer l'atmosphère au-dessus des deux stations comme homogène en horizontale, exception faite, évidemment, de l'influence urbaine dans les premiers cents ou mille pieds au-dessus de la ville.

Sainte-Thérèse est à 8 minutes d'angle plus au nord que la station Brébeuf, ce qui veut dire que le soleil est toujours 8 minutes d'angle plus haut au-dessus de l'horizon à Montréal qu'à Sainte-Thérèse. À cause de cela, Brébeuf recevra entre 0.5

et 1% plus de rayonnement en hiver; 0.3% en automne et au printemps, et seulement 0.1% en été.

De plus, Brébeuf qui est 200 pieds plus élevé que Sainte-Thérèse recevra en atmosphère limpide 1% plus de rayonnement que Sainte-Thérèse, ceci à cause de la plus grande masse d'air à traverser au-dessus de Sainte-Thérèse.

Dans la discussion précédente sur la différence de latitude et d'élévation des deux stations ainsi que sur la situation privilégiée de Brébeuf dans l'atmosphère urbaine, tout joue dans le même sens et tend à augmenter, si peu que ce soit, les valeurs du rayonnement reçu à Brébeuf par rapport à Sainte-Thérèse. On pourra donc considérer les atténuations mesurées comme des valeurs conservatrices.

### *Instrumentation*

Les deux stations étaient équipées: 1° de pyranomètres Eppley à 50 soudures, préalablement calibrés par la section météorologique du ministère du Transport à Toronto; 2° de thermographes, qui ont permis d'établir le facteur de correction de température à appliquer dans l'analyse des données. À cause des précautions prises dans la calibration de l'appareillage et dans l'analyse des données, nous ne croyons pas que l'erreur relative entre les mesures des deux instruments dépasse 2%, surtout pour les valeurs établies sur une longue durée.

### *Analyse*

Les mesures du rayonnement solaire total ont été enregistrées de façon continue et ininterrompue durant 18 mois, du 1<sup>er</sup> novembre 1965 au 31 mai 1967. La moyenne horaire de chaque journée a été établie à chaque station, après quoi le rapport Montréal/Sainte-Thérèse a été calculé, soit pour tout un mois, soit pour toute la période en cause.

Les données ont aussi été distribuées en trois catégories selon l'état du ciel: 1° sans nuages: le rayonnement solaire direct est parvenu au pyranomètre des deux stations durant toute l'heure; 2° complètement couvert: le rayonnement direct n'est jamais parvenu à l'une ni à l'autre station; 3° partiellement couvert: tous les autres cas. Il faut remarquer que les deux premières catégories seulement constituent des groupes homogènes. Il suffit, en effet, qu'une station ait vu le rayonnement direct une seule fois dans l'heure et que l'autre station ne l'ait pas vu du tout, ou vice-versa, pour que ce cas soit classé dans la troisième catégorie de ciel partiellement couvert, au lieu de ciel complètement couvert.

**Tableau 1** *Rapport Montréal/Sainte-Thérèse (pourcentage) du rayonnement solaire total*

(Entre parenthèses, le nombre des valeurs utilisées pour chaque rapport.)

Tous les cas	91 (4,018)
Ciel sans nuages	96 (874)
Ciel complètement couvert	82 (536)
Autres cas	92 (2,608)

nement direct une seule fois dans l'heure et que l'autre station ne l'ait pas vu du tout, ou vice-versa, pour que ce cas soit classé dans la troisième catégorie de ciel partiellement couvert, au lieu de ciel complètement couvert.

### *Résultats et discussion*

D'après le tableau 1, on voit que Montréal a reçu en moyenne 91% du rayonnement de Sainte-Thérèse.

Par ciel sans nuages, cette proportion monte à 96%; par temps complètement couvert, elle descend à 82%. En d'autres termes, l'atténuation est de 4% (100-96) par ciel sans nuages et de 18% par ciel complètement couvert. On peut se demander pourquoi l'atténuation par temps couvert est beaucoup plus élevée que par ciel clair: à cause d'une plus grande accumulation des polluants ou à cause d'une nébulosité plus élevée au-dessus de la ville? L'analyse, à ce stade-ci, ne permet pas de répondre à cette question, mais une redistribution des données selon des critères de bonne ou mauvaise dispersion des polluants par l'atmosphère pourrait peut-être apporter une solution à ce problème.

La figure 3 présente le rapport Montréal/Sainte-Thérèse en fonction du mois. On remarque un minimum pendant les mois d'hiver, ce qui peut s'expliquer de deux façons: émission plus élevée de polluants en hiver à cause du chauffage accru et stabilité plus grande de l'atmosphère, qui a voyagé et s'est refroidie sur les surfaces de neige ou de glace. Les deux maxima du début de l'été et de la fin de l'automne s'expliqueraient alors par une diminution de polluants et par des conditions atmosphériques instables favorables à la dispersion des polluants, tandis que la chute de la courbe pendant août et septembre pourrait être associée à des situations atmosphériques plus stables. Mais ceci reste à démontrer.

Dans la figure 4, ont été superposées les deux courbes suivantes: 1° atténuation du rayonnement en atmosphère urbaine, obtenue en soustrayant les chiffres de la figure 3 du chiffre 100; 2° courbe de l'indice de saleté tirée de Summers (1961) et basée sur des mesures de la quantité de poussière en suspension dans l'atmosphère du centre-ville de Montréal. Il ne s'agit pas, évidemment, de comparer la valeur absolue ni l'amplitude des deux phénomènes, mais seulement l'allure générale des deux courbes. Il se peut que les écarts notables présents aux mois d'août, septembre, octobre et novembre puissent s'expliquer en termes de situations météorologiques très différentes dans l'une et l'autre des périodes de temps utilisées. Exception faite de cette période, on voit que les deux phénomènes sont étroitement associés, particulièrement en hiver.

Dans la figure 5, la courbe (M) de la figure 3 a été décomposée selon les catégories de ciel sans nuages (SN), complètement couvert (CC) et partiellement couvert (PC).

On remarque que, par ciel sans nuages, le rayonnement reçu à Montréal en hiver s'éloigne de celui de Sainte-Thérèse, et s'en approche au début de l'été et en fin d'automne. Toutefois, l'amplitude de la variation est moins marquée et le maximum d'automne est plus prononcé que pour l'ensemble des données. Il y aura lieu, dans l'analyse subséquente d'examiner plus en détail les conditions météorologiques qui ont donné naissance à ces maxima.

La courbe (CC) du ciel complètement couvert, présente une allure assez erratique: par rapport à Sainte-Thérèse, Montréal a reçu des minima de rayonnement solaire dans l'hiver 65-66, en été 1966 et tard dans l'hiver 1967. Ici encore une redistribution des données en catégories de bonne et mauvaise dispersion atmosphérique des polluants pourrait révéler si les fortes atténuations constatées dans ces mois sont dues à l'accumulation des polluants ou à une nébulosité plus forte au-dessus de Montréal.

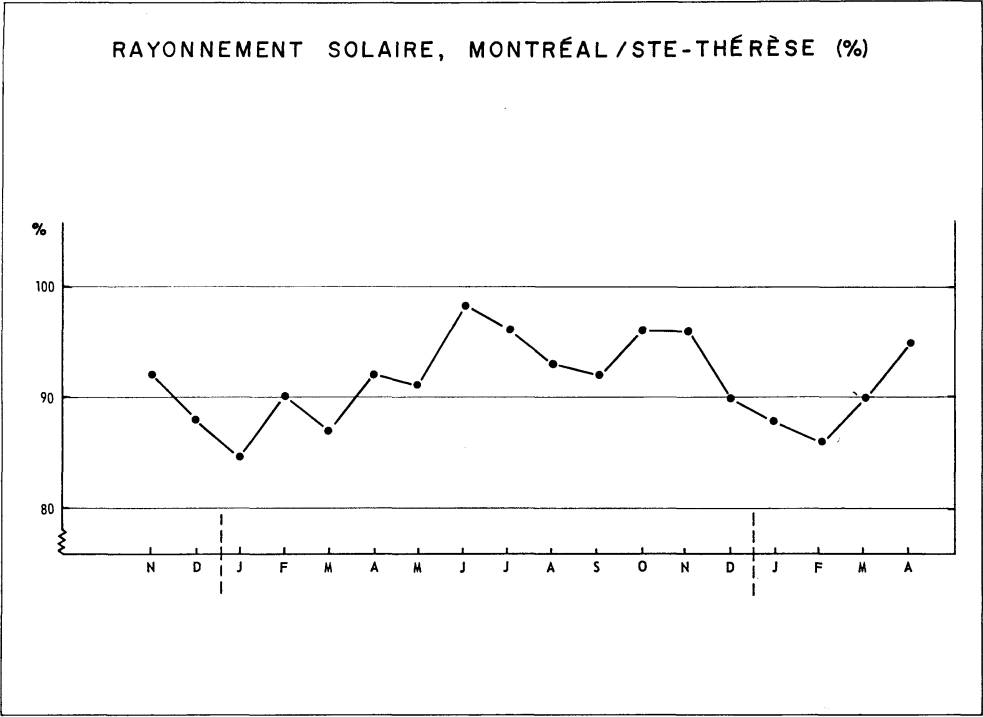


Figure 3

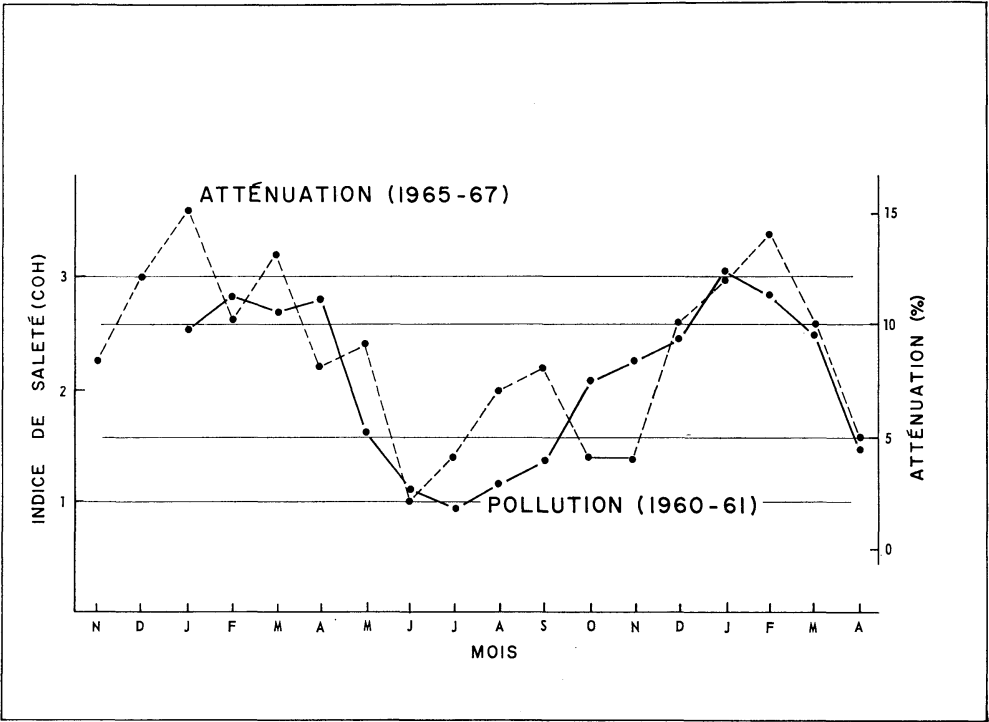


Figure 4



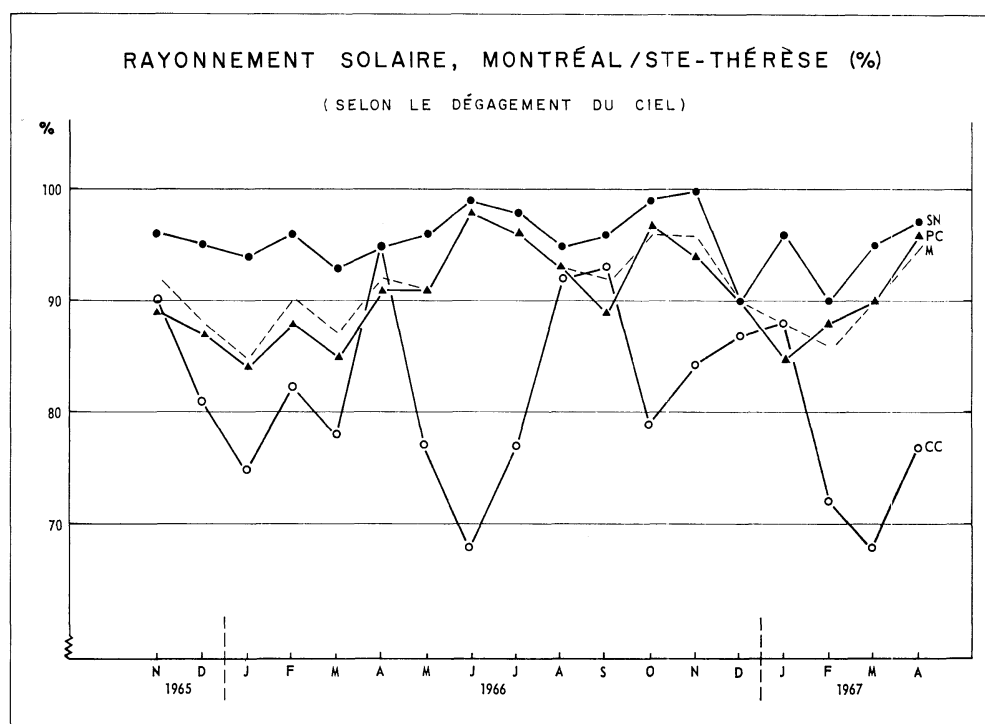


Figure 5

Enfin, le tableau 2 donne une comparaison des résultats avec ceux obtenus dans des expériences similaires à Toronto et à Boston. Les résultats de Boston présentés par Hand (1949) ont été obtenus à une époque où le charbon était d'un emploi plus courant;

**Tableau 2** *Comparaison de l'atténuation du rayonnement solaire total*

Ville	Boston	Montréal	Toronto
Période	1944-48	1965-67	1959-62
Durée (mois)	48	18	36
Atténuation (%)	18	9	7

de plus, la station urbaine était située en plein centre-ville, ce qui n'est pas le cas pour les deux autres villes mentionnées dans le tableau. Ceci expliquerait la forte atténuation mesurée à Boston. Par ailleurs, Emslie (1964) note que la station urbaine de Toronto ne se trouve pas située dans le secteur

le plus pollué de Toronto; de plus, la station rurale était située à 10 milles seulement à l'est de la station urbaine, dans le prolongement des vents dominants, il n'est pas improbable que cette station rurale ait été assez souvent sous l'influence urbaine. Tout ceci expliquerait l'atténuation relativement basse qui a été constatée à Toronto. Soulignons que l'atténuation mesurée à Montréal constitue une valeur conservatrice à cause du site privilégié de la station urbaine en cette ville et de l'élévation de Brébeuf par rapport à la campagne environnante.

### Conclusion

En moyenne, il y a une réduction de 9% du rayonnement solaire en atmosphère urbaine à Montréal. Cette atténuation est beaucoup plus élevée en hiver, s'élevant alors jusqu'à 15%. En se basant sur les données de ciel sans nuages, au moins 4% de cette atténuation doit s'expliquer par la présence des polluants. On ne sait pas encore à laquelle des deux causes, augmentation des polluants ou des nuages, on doit attribuer la forte atténuation (18%) mesurée par ciel complètement couvert.

Ces chiffres prennent toute leur importance si l'on songe à deux faits: 1° que la partie du rayonnement d'abord atténuée touche les ultra-violets; 2° que les ultra-violets ont un pouvoir bactéricide et sont utilisés par le corps humain dans la synthèse de la vitamine D.

### RÉSUMÉ

*L'auteur compare le rayonnement solaire global dans deux stations situées, l'une au centre de Montréal (Brébeuf), l'autre à 15 milles au nord-ouest du centre de la ville (Sainte-Thérèse-de-Blainville).*

*Pendant la période du 1<sup>er</sup> novembre 1965 au 31 mai 1967, Montréal a reçu en moyenne 91% du rayonnement de Sainte-Thérèse. L'atténuation par temps couvert est plus forte que par temps clair et l'effet urbain est maximum pendant les mois d'hiver.*

### SUMMARY

*The author compares the total incoming solar radiation at two stations, one situated in the centre of Montréal (Brébeuf) and the other 15 miles north-west of the town centre (Sainte-Thérèse-de-Blainville).*

*During the period from November 1, 1965 to May 31, 1967, Montréal received on the average only 91% of the total received at Sainte-Thérèse. The attenuation is greater under cloudy condition than with clear skies, and the urban effect is at a maximum during the winter months.*

### BIBLIOGRAPHIE

- CHANDLER, T. J., *Absolute and relative humidities in towns*, dans *Bull. Amer. Soc.*, 48 (6) 1967, pp. 394-399.
- EMSLIE, J. H., *The reduction of solar radiation by atmospheric pollution at Toronto, Canada*. D.O.T. Met. Branch, Cir. 4094, Tec. 535, 1964.
- HAND, I. F., *Atmospheric contamination over Boston, Mass.*, dans *Bull. Amer. Met. Soc.*, 30 (7) 1949, pp. 252-254.
- KRATZER, A., *Das Stadtklima*. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1956, 184 pages.
- LANDSBERG, H., *Physical Climatology*. 2nd edit., Gray Printing Co., Inc., DuBois, Penn. 1958, p. 319.
- SUMMERS, P. W., *Air Pollution in Montréal related to local meteorological factors*. A paper presented at the National Congress. Can. Branch Roy. Meteor. Soc., Montréal, 1961.
-